

煤中关键金属开发利用大有可为

——访中国科学院院士、中国矿业大学(北京)教授代世峰

■本报记者 杨沐岩



近期,中东冲突持续,霍尔木兹海峡海上交通中断,中东多座铝厂遇袭停产,暴露出全球关键矿产资源供应链的脆弱性,推动全球多种关键矿产价格大幅攀升。

在这些矿产中,各类关键金属资源与新能源、电子、航空航天等重点产业发展息息相关。如何构建有韧性的关键矿产供应链,正成为各国关注的焦点。我国关键金属资源储量丰富,但部分金属产品品位低、开发难的问题仍然存在。

中国科学院院士、中国矿业大学(北京)教授代世峰日前在接受《中国能源报》记者采访时指出,煤炭中含有多种金属元素,可以成为关键金属供应的重要来源。我国是世界主要的煤炭开采和消费国,煤中金属早已工业化开发利用,近年从煤炭中提取铝和镓等金属的尝试也取得一定成果。未来,燃煤发电产生的大量粉煤灰有望成为供应关键金属的“矿山”,这不仅能让煤炭成为兼具燃料和资源属性的关键矿产,也可“变废为宝”,将煤炭资源“吃干榨净”。

煤中金属有哪些?

代世峰说,从煤炭中提取金属的技术并非近年才出现。“二战后,煤炭曾是铀的重要来源,支撑美国、前苏联早期核工业发展。后来,伴随勘探技术进步,煤中提铀逐渐被成本更低、提取更简单的商业铀矿取代,但铀是煤炭中提取出的第一个关键金属,也是煤中关键金属开发利用的里程碑。”

目前,煤系金属中开发较成熟的是锗,被广泛用于光纤、光学仪器制造,给卫星和空间站供电的砷化镓太阳能电池也用锗作为

衬底。我国云南临沧的锗矿原本是一座含铀煤矿,但该矿锗的价值远远超铀,如今已成为我国主要的锗资源基地之一,矿产品不仅供应国内,也销往海外。此外,内蒙古也有规模很大的煤中锗矿床。

而在光伏、储能电池、电动汽车等新能源产业中常用的铝、锂和镓,也可从煤炭中提取。例如,内蒙古准格爾的煤炭就富含上述三种金属元素,当地的哈尔乌素和黑岱沟煤矿总产能达6000万吨,还配有坑口电厂。代世峰表示,电力是主要的耗煤行业,燃煤发电产生的大量粉煤灰是提取关键金属的“矿山”,“准格爾当地的坑口电厂用煤来源固定,粉煤灰中的金属元素含量高,比例稳定,有很高的利用价值。”

此外,粉煤灰也是全球锗生产的主要原料。近年国内还有多家企业创新粉煤灰应用,取得一定成果。例如,大唐发电下属企业利用粉煤灰生产硅铝合金,原本发电产生的废物“变身”集轻质、高强度、耐磨和耐高温优势于一身的工业材料,可被应用

于汽车、电子和航空领域。也有煤炭企业尝试从粉煤灰中提取铝、镓和锂,不仅节约废物处理的支出,氧化铝生产成本也低于市场平均水平。

代世峰说,不仅粉煤灰,含有金属元素的矿井水、煤炭开采伴生的矸石也有成为“关键金属矿山”的潜力。

煤中金属从哪来?

煤炭的本质是地质历史年代的植被,被掩埋在地下形成矿床。为什么曾经的植被中会有金属?代世峰说,这主要源于蚀源区。

所谓蚀源区,是以侵蚀为主、提供沉积物来源的泥炭沼泽周边高地,是包括煤中矿物质在内的沉积岩的主要碎屑物质来源。“简而言之,煤炭的前身泥炭多沉积在原本是盆地的区域,周围地势高的蚀源区如果金属元素丰富,在降雨、河流、风力等作用下,蚀源区的金属元素就会被带入盆地。”代世峰指出,对植被生长而言,这些金属元素等矿物质也是很好的养料。“时过境迁,大片植被演变为煤炭,金属元素便富集在煤中。准格爾煤炭中富含的铝和镓,就是由曾经的蚀源区而来。”

“另一种能滋养植物生长又能带来金属元素的,是火山灰。”代世峰说,碱性火山灰含有丰富的铈、锆和镓等元素,碱性火山灰喷发沉降在泥炭沼泽,在未来形成的煤层中便含有这些金属元素。我国云南东部、贵州西部、四川南部和重庆的煤炭富集铈、锆和镓等金属元素,主要就与碱性火山灰有关。此外,热液流体也可能溶解部分金

属元素,顺着断裂带等通道注入泥炭沼泽,使得煤中富集关键金属元素。

整体看,我国煤炭中的关键金属种类丰富,主要分布在从内蒙古东南到云南的纵向条带上。代世峰介绍,我国有14个亿吨级煤炭生产基地,这一条带上就分布9个,新疆煤炭提取关键金属的潜力也很大。煤炭的资源化利用和能源保障相辅相成,国内煤炭基地配套的洗选、化工、煤电等设施齐全。“利用粉煤灰、矿井水甚至矸石提取关键金属不仅可以‘变废为宝’,也是将煤炭资源‘吃干榨净’。”

代世峰表示,当前,美国、澳大利亚和俄罗斯等煤炭大国都在推进提取煤炭中金属资源的研究,虽然有的国家已形成比较明确的规划路线,且研究进展较快,但我国依然有着独特优势。我国煤炭产业链完善,煤炭从单一燃料向原料和燃料并重的转变正加快推进。“近年来,新能源等新兴产业对关键金属的需求不断扩大,煤中关键金属开发大有可为。当前,我国已在锗开发上积累了丰富经验,为提取煤炭中的其他关键金属打下坚实基础。”

如何解锁“金属宝库”?

近年来,关键金属矿产成为大国博弈的焦点,这些资源的供应和国家的新兴产业、重要产业发展息息相关。丰富关键金属来源、构建有韧性的供应链,可以提升我国在关键矿产领域的话语权。代世峰指出,对我国而言,从煤炭中提取关键金属是一个新领域,我国煤炭产量、消费量全球领先,煤炭中的“金属宝库”正等待解锁。

围绕煤炭中的关键金属提取,我国该如何系统布局?代世峰认为,摸清资源“家底”是第一步。“我们要摸清哪些地方有怎样的煤,这些煤中又富集哪些金属。还需要研究这些金属资源的赋存状态,有针对性地研究提取技术,这需要有组织、有深度、有创新的科研体系。”

同时,煤炭中的金属资源多样,结合实际需求规划开发路线也很重要。代世峰指出:“现在,锗、铝和镓等金属的提取已取得一定成果,这些金属应用范围广、需求大。从煤炭中提取这些金属的成本有望低于传统开采方式,商业化开发潜力较大。锂和镓也是重要资源,但在煤中的丰度不如传统金属矿床,这些煤中的金属及其相应的提取技术则可作为战略储备,发挥兜底保障作用。”

代世峰也提到,提取煤中关键金属也面临一些挑战。“例如,电厂重视煤炭燃烧稳定性,销售方会将不同产地、不同热值的煤炭掺配到一起,满足电厂的定制需求。不同产地的煤炭含有不同含量的金属元素,批次不同,掺配煤炭产地也不同。这就造成同一电厂粉煤灰中的金属含量总在变化,给金属提取带来困难。”

“此外,有些煤矿的关键金属价值高于煤炭价值,未来如果将煤炭转化为金属等资源售卖,可以提升企业效益。但这样一来,企业生产的是煤炭还是金属?这背后的矿权界限仍需厘清。”代世峰说,要进一步开发煤炭中的金属资源,不仅需要行业企业积极探索,也需要统一规划和政策支持。

中国航运减排进入制度硬约束时代

■本报记者 梁沛然

交通运输部海事局日前印发的《关于推动航运绿色低碳转型发展的意见》(以下简称《意见》)提出,到2030年,国际航行船舶碳排放强度相比2025年下降不低于15%,同时全面建成新能源清洁能源船舶技术规范体系、安全监管制度体系和碳排放监测、报告与核查(MRV)制度,并显著提升我国在国际海事组织航运温室气体减排规则制定中的影响力。

作为中国航运领域首个系统性的绿色转型顶层设计文件,《意见》量化目标已落地为硬性指标。业内认为,随着产业的替代燃料加注提速,制度体系正加速全面铺开。

从“零散试点”到“制度闭环”

过去几年,中国航运绿色转型的尝试更多是点状突破。

2024年4月,上海港完成国内首单绿色甲醇加注。截至目前,累计完成甲醇燃料加注29艘次,总加注量超过9万吨,其中绿色甲醇加注近10次,加注量超1.7万吨,覆盖国际航运头部企业甲醇双燃料船舶的多种船型。深圳盐田港也在今年1月完成全国首艘甲醇双燃料加注船“大庆268”轮的首单加注,成功为“中远海运康乃馨”轮加注200吨绿色甲醇燃料。

除试点突破外,《意见》出台前,产业端已多有实践。今年3月,中集安瑞科在深圳盐田港完成全国首艘甲醇加注船首单加注后,又在香港完成全球首艘甲醇双燃料滚装船“港荣”轮的首单加注,其生物基绿色甲醇项目已获国际ISCC认证,产

品批量供应招商轮船、中石化等行业龙头。上海电气在吉林洮南建设的风电耦合生物质绿色甲醇一体化示范项目首批投产,年产能达5万吨,每年可减排二氧化碳12万吨。氢能促进会数据库显示,全国绿色甲醇项目共计247个(含投产),已披露产能合计6486.05万吨。

但这些分散在各地的项目,总体缺乏统一的制度框架来规范、衔接和推广。《意见》最大的突破,是填补这一行业制度短板,将零散的尝试整合为完整的制度闭环,其从政策法规体系、船舶与运输方式绿色转型、产业协同与要素供给、安全底线四个方面搭建框架,环环相扣,构成一条从法规制定到技术研发、从船舶建造到能源供应的完整链条。

路径清晰但成本问题仍存

《意见》设定的“15%”减排目标意味着在不到5年时间里,整个航运业的碳排放强度必须显著下降。对船东而言,这不是远期愿景,而是5年内必须兑现的硬指标。但截至目前,常规燃料船舶仍占航运运力的近六成,转型挑战依然艰巨。

对此,《意见》实施路径采取“多路线并行”策略,在中长途、大宗货物运输领域开展LNG、LPG、氢、氨、醇燃料船舶应用,在中短途货船、港作拖轮及公务船等场景推广纯电动动力船舶。

中国船舶工业行业协会副秘书长王东波披露的一组数据显示,2025年前三季度,全球绿色动力船舶在运力统计中的占比一度接近44%,但受IMO净零框架表決

推迟影响,第四季度船东明显观望,全年占比回落至27.9%。截至目前,LNG可用或直接使用船舶占比约12%,甲醇预留船舶约9%,电池混合动力约5%。

DNV集团高级副总裁黄今表示,船东不要押注单一燃料,保持灵活性,即采取“多手准备”策略。

虽然路径清晰,但当前成本也是绕不过去的坎。

广发证券的一份研究报告详细测算了绿色甲醇的经济性门槛:在当前欧盟碳价85欧元/吨和IMO净零框架2028年目标下,绿色甲醇的经济性价格约为3096至3562元/吨;而到了2034年,当欧盟正式取消免费配额后,叠加彭博新能源财经预测的194欧元/吨碳价,绿色甲醇的经济性价格将升至5378元/吨至6452元/吨。根据Argus评估,2025年8月我国华东地区生物甲醇均价6967.6元/吨,仍然“显著高于经济性水平,降本增效为行业目前重中之重”。

当前,政策资金正在入场。今年政府工作报告提出设立国家低碳转型基金,培育氢能、绿色燃料等新增长点。业内人士表示,从产能到加注,从成本到合规,5年内要填平的缺口仍然很大。“15%这个数字最终考验的不是某一家企业,而是整条产业链的协同速度。”某大型船舶船长吴先生说。

中国选择“自己的路径”

当前IMO净零框架的谈判正卡在最微妙的关口。自2025年表决被暂停1年后,各方立场已有明显裂痕。



美国的立场最为决绝,几乎否定过去几年所有谈判的基础。阿尔及利亚、沙特、俄罗斯等八国组成的联合阵营不反对减排本身,但强调任何未来框架都必须以共识为基础,不能塞进“任意设定”的量化参数,设计应建立在客观、基于证据的评估之上。还有一些国家试图走中间路线,比如巴拿马、利比里亚、阿根廷等国提出一个具体替代方案,绿色燃料价格不得高于低硫燃油的115%,全球供应占比至少达到5%,并且至少在IMO划定的七大区域中的五个能够获得。

在此背景下,《意见》的回应方式颇为务实——没有对标欧盟的激进方案,而是走了一条“国内制度先行、国际规则并行”的路:要推动建设与国际接轨的航运可持续燃料认证体系,促进我国主要燃料生产路径获得国际认可,同时紧密跟踪欧盟碳排放交易体系等区域减排政策动态,持续深化国际航运减排政策、市场机制及技术标准研究。

这是由于,一方面,目前全球绿色燃料认证标准由欧盟主导的ISCC体系把持,定价权和审核权都在别人手里。必维集团氢能业务首席专家刘忠勇直言,中国作为未来全球最大绿色燃料供应国,目前仍须遵循以欧盟标准为主的买方规则,将面临较高的合规成本。“提升中国在国际规则制定中的话语权,对于推动本土绿色能源产品赢得市场竞争优势至关重要。”

另一方面,中国正在用国内制度为国际谈判铺路。世界资源研究所(WRI)北京代表处可持续交通总监薛露露2025年发布研究报告时表示,当前全球尚未形成统一的航运可持续替代燃料标准,完善中国现有航空可持续燃料标准与认证机制,尽快制定国家层面的航运可持续替代燃料标准,积极参与IMO与ICAO相关谈判,是中国在可持续燃料领域的重要机遇。

国际规则仍在博弈,业内人士认为,中国选择先用技术和产能去证明“中国路径”走得通。

粤港澳大湾区首台“华龙一号”核电机组投产



图片新闻

4月24日,粤港澳大湾区首台“华龙一号”核电机组——广东太平岭核电项目1号机组投产发电,正式具备商运条件。该机组预计年发电量超90亿千瓦时,能够满足粤港澳大湾区百万居民的日常生产生活用电需求。

1号机组建设工作全面吸收前期项目经验,完成26项重大设计改进,8300余项经验反馈。图为太平岭核电基地。

何惠/图文

关注

本报讯 国家能源局4月23日发布的数据显示,截至3月底,全国累计发电装机容量39.6亿千瓦,同比增长15.5%。其中,太阳能发电装机容量12.4亿千瓦,同比增长31.3%;风电装机容量6.6亿千瓦,同比增长22.4%。

1—3月,全国新增太阳能发电装机容量4139万千瓦,新增风电装机容量1577万千瓦,比上年同期多投产83万千瓦。相较1—2月,全国累计发电装机总量持续攀升,其中太阳能发电装机容量同比增速有所回落,但仍显著高于整体增速;风电装机容量依旧保持高速增长态势。

截至3月底,全国风光合计装机近19亿千瓦,占全国累计发电装机容量约48%。

(廖睿灵)

全国累计发电装机容量
增至39.6亿千瓦